

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Байдильдаевой Асель Куанышевны на тему «Исследование технологии микрокапсулирования кожи для обуви людей с патологическими отклонениями стопы», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07211 – «Индустрия изделий из кожи»

Общая характеристика работы. Данная диссертационная работа посвящена технологии микрокапсулирования кожаных стелек. В диссертационной работе исследовались антибактериальные свойства обувной кожи с микрочастицами эфирного лаврового масла.

Согласно статистике Министерства здравоохранения Республики Казахстан о здоровье населения и деятельности организаций здравоохранения в 2024 году, опубликованной в 2025 году, 1 193 381 человек были диагностированы с заболеваниями опорно-двигательного аппарата и соединительной ткани, а 328 300 человек - с диабетом. Высокий уровень развития современного общества фокусируется на здоровье населения и комфорте окружающей среды. В этом отношении обувь нуждается в улучшении как жизненно важный элемент, сопровождающий человека.

Одной из самых распространенных вещей в повседневной жизни является обувь. Важно, чтобы обувь обладала свойствами, улучшающими качество жизни людей с патологическими отклонениями стопы. Исследования в области обуви в Республике Казахстан показали наличие ряда проблем и препятствий на пути развития.

Диабет - глобальная проблема. В настоящее время число больных растет, и растут затраты на лечение. 20% больных диабетом страдают от язв на стопах. Людям с диабетом необходим особый уход за ногами. У таких пациентов любая царапина, даже самая маленькая бородавка, может привести к очень серьезным последствиям, вплоть до ампутации. Мозоль - это скопление и разрастание утолщенной кожной ткани, которая становится видимой из-за чрезмерного образования эпидермальных клеток. Эти патологические изменения происходят из-за повреждения кожи и подкожной ткани. Главным фактором нарушения целостности кожи является сжатие, вызванное неправильным распределением нагрузки на ногу человека. Гиперкератоз пятки - это состояние, поражающее стопу. Его форма может достигать нескольких сантиметров. Сухая дерма легко расчесывается, что может привести к дискомфорту и кровотечению. Кроме того, что наиболее важно, повреждение приводит к инфекции.

Наиболее распространенной патологией являются легкие и умеренные кожные инфекции. Ежегодно около 10 миллионов человек обращаются за неотложной помощью по поводу травматических повреждений мягких тканей различной степени тяжести. Эти и другие патологические изменения стопы требуют создания комфортной среды в обуви в соответствии с гигиеническими требованиями. Внедрение технологии микрокапсулирования

для обувной кожи позволяет производить продукцию с современными, инновационными показателями.

Технология микрокапсулирования впервые была внедрена в фармацевтической промышленности как привлекательный производственный процесс благодаря широкому применению распылительной сушки. Сегодня эта технология используется в текстильной, кожевенной, фармацевтической, пищевой и сельскохозяйственной отраслях. Технология микрокапсулирования - это процесс преобразования жидкости или раствора из жидкого состояния в порошок путем распыления в горячей сушильной среде. Методы микрокапсулирования позволяют производить частицы различных размеров, до сотен микрон.

Актуальность темы работы. Обувь используется в повседневной жизни, и её качество важно для гигиены и здоровья. Особенно важно создать комфортные условия для людей с патологическими нейропатическими отклонениями стопы, такими как потеря чувствительности, сухость кожи, язвы и инфекции. Использование эфирного масла (лаврового) создает антибактериальную среду в обуви, поскольку это натуральный растительный материал, содержащий многочисленные антибактериальные компоненты. С помощью технологии микрокапсулирования в обувь вводятся антибактериальные свойства, необходимые людям с патологическими отклонениями стопы, такими как стойкий гиперкератоз, онихомикоз и диабет.

Степень проблемы исследования. Данная технология недостаточно изучена в странах Содружества Независимых Государств, существуют лишь исследования в области текстиля: Одинцова О.И., Левшитская О.П., Чернова Е.Н. и др. Патентные исследования показывают, что технология не используется в кожевенной и обувной промышленности Республики Казахстан. Однако глобальные исследования показывают, что такие ученые, как Каравана Х., Белак Е., Марцинковска Е., Лавинска К., Лю Г., Виейра Копп В. и др., внесли значительный вклад в эту область. Академик Национальной академии наук Республики Казахстан О.К. Мадиев и др. предложили использовать различные антисептические вещества при дублении. Среди них металлический йод, оксид цинка и хитозан. Однако использование технологии микрокапсулирования при дублении невозможно. Это связано с объемными размерами микрочастиц. Поэтому в данном исследовании работа проводилась с кожаными стельками.

Цель работы. Использование специального оборудования для технологии микрокапсулирования, улучшение антибактериальных свойств кожаных стелек и подкладок обуви с помощью хитозана и лаврового масла, содержащих антибактериальные компоненты, и повышение гигиенических свойств обуви. Для достижения этой цели были исследованы следующие задачи:

1. Разработка комплекса для приготовления растворов на основе природных компонентов хитозана и эфирного масла лавра и проведение технологии микрокапсулирования.

2. Разработка способа финишной обработки покрытий с использованием микрочастиц, содержащих природные компоненты.

3. Анализ состава микрочастиц.

4. Определение физико-химических свойств покрытий и субстратов, покрытых микрочастицами, полученными на основе природных компонентов.

5. Изучение микробиологических параметров и антибактериальных свойств покрытий и субстратов, покрытых микрочастицами.

Объект и материалы исследования. Обувь из wet-blue кожи без красителей, три разных подкладочных материала, лавровое масло и хитозан.

Методы исследования. В работе использовались следующие методы: метод распылительной сушки, метод погружения и распыления, а также микробиологические исследования. Морфология и химический состав микрочастиц и кожи оценивались с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), анализа распределения частиц по размерам, ИК-спектроскопии, УФ-спектроскопии и антибактериальных анализов.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях университета Эге и Университета Догуз Эйлюль (Измир, Турция), а также в Таразском университете им. М.Х. Дулати.

Научная новизна диссертационного исследования:

- Было приготовлено семь различных натуральных растворов на основе хитозана и компонентов эфирного масла лавра для производства микрочастиц, и разработана технология.

- Доказано улучшение физико-химических свойств стелек, обработанных микрочастицами на основе натуральных компонентов.

- Результаты высвобождения лаврового масла из образцов *in vitro* показали, что оно высвобождалось постепенно и медленно.

- Микробиологический анализ образцов кожаных стелек и подкладок обуви, покрытых микрочастицами, подтвердил их антимикробные свойства.

- Результаты показали возможность их использования не только для обуви для людей с патологическими отклонениями стопы, что являлось основной целью, но и для массового потребления.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в использовании микрочастиц, полученных из натурального хитозана и лаврового масла, для производства кожаных стелек и подкладок для обуви с антибактериальными свойствами.

Это исследование предполагает, что усовершенствование методов производства может существенно улучшить здоровье и гигиену ног. Кроме того, применение этого оптимизированного метода имеет значительный потенциал для производства стелек с быстрым и длительным антимикробным эффектом. Таким образом, эта работа является перспективной и востребованной для обувной промышленности.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Технология получения микрочастиц в мини-распылительной сушилке Unopex B 15.

- Результаты влияния параметров процесса (соотношение компонентов, концентрация поверхностно-активного вещества, температура, скорость подачи) на выход и характеристики микрочастиц.

- Методы нанесения (распыление и погружение), влияющие на распределение микрочастиц и функциональные свойства покрытий.

- Результаты оценки устойчивости антимикробного эффекта при отсутствии и механическом трении (стойкость к изгибу, сухое и влажное трение).

Степень достоверности и подтверждения результатов.

Достоверность научных выводов, заключений и рекомендаций подтверждается сходством результатов исследования.

Результаты диссертационной работы были реализованы на предприятии ТОО «Таразский Кожевенный Завод» (Акт о реализации результатов научно-исследовательской работы на предприятиях, 11.10.2025) и ТОО «ТаразКожОбувь» (Акт о реализации результатов научно-исследовательской работы на предприятиях, 13.04.2026).

Результаты диссертационной работы были реализованы в учебном процессе. Дисциплина «Санитарно-гигиенические требования к изделиям из кожи», изучаемая на 5-м семестре 3-го курса в 2025-2026 учебном году. (Акт о реализации результатов научно-исследовательской работы в учебном процессе, 06.03.2026).

В рамках исследования, проведенного в данной диссертационной работы, подана заявка на патент (Номер заявки: 2026-67676. Штрихкод: 4109542).

Публикация результатов исследования. Основные положения диссертационной работы были представлены и обсуждены в журналах и на конференциях.

Одна статья была опубликована в журнале, входящем в базы данных Web of Science и Scopus:

1. Assel Baidildayeva, Gizem Ceylan Türkoğlu, Mustafa Ökeer, Bayri Eraç, Huseyin Ata Karavana. «Microencapsulation of Laurel Essential Oil with Chitosan for Enhanced Durability and Antimicrobial Properties of Leather Footbeds». // Iranian polymer journal, 2024.

Одна статья была опубликована на международной конференции, индексируемой в базе данных Scopus:

1. Assel Baidildayeva, Gizem Ceylan Türkoğlu, Mustafa Ökeer, Bayri Eraç, Huseyin Ata Karavana. «Textile-based footwear linings functionalized with laurel oil microparticles: antimicrobial protection». // 10th International Conference «Advanced materials and systems (ICAMS 2024)», Бухарест, Румыния, 2024.

В издании, включенном в список Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, были опубликованы две статьи:

1. Assel Baidildayeva, Gizem Ceylan Türkoğlu, Indira Jiyembetova, Gulzira Jumabekova, Bekzhan Abzakhbekuly. «Study of the antimicrobial properties of footwear materials of people with pathological deviations of the feet» (Табандарының патологиялық ауытқулары бар адамдардың аяқ киім

материалдарының антимикробтық қасиеттерін зерттеу). // Механика и технология, Тараз, 2025, №1.

2. Assel Baidildayeva, Huseyin Ata Karavana, Indira Jiyembetova, Gulzira Jumabekova, Bekzhan Abzakhbekuly. «Loading efficiency and *in vitro* release studies of microparticles treated on leather and footwear linings» (Былғары мен аяқ киім астарына өңделген микробөлшектердің жүктеу тиімділігі және *in vitro* босату зерттеулері). // Механика и технология, Тараз, 2025, №3.

На международных конференциях были опубликованы две статьи:

1. Assel Baidildayeva. «Analysis of orthopedic insoles available on the Kazakhstan market» (Анализ ортопедических стелек, представленных на рынке Казахстана). // International Scientific and Practical Conference, “Soha korxonalari uchun yuqori malakali kadrlar tayyorlashda milliy va xorijiy tajribalar”, Ташкент, Узбекистан, 2022.

2. Assel Baidildayeva, Indira Jiyembetova. «Pathological deviations of the feet and the importance of corrective footwear» (Адамдардың табандарының патологиялық ауытқулары мен оларға арналған түзетпе аяқ киімдердің маңыздылығы). // XIII International scientific and practical conference of young scientists «Innovative development and the requirement of science in modern Kazakhstan», Тараз, 2019.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из 113 страниц, включая нормативные ссылки, определения, сокращения, введение, 3 раздела, заключение, список литературы и приложения. Структура диссертации включает 29 таблиц, 31 рисунок и 5 уравнений.

Основное содержание работы:

Первая часть диссертации представляет собой всесторонний обзор литературы и анализ современного состояния исследований в области функциональных материалов и технологий для обуви. Особое внимание уделено материалам, используемым в производстве обуви, с акцентом на их гигиенические, физические и функциональные свойства. Рассмотрены существующие технологии микрокапсулирования и нанесения активных соединений на кожу, включая их потенциал для улучшения функциональных характеристик материалов обуви. Также проанализированы антибактериальные свойства материалов обуви и механизмы антимикробного действия. Особое внимание уделено хитозану как природному биополимеру с антимикробными и пленкообразующими свойствами, а также эфирным маслам, в частности лавровому эфирному маслу, как перспективным природным антибактериальным средствам. Кроме того, изучены литературные данные, касающиеся патологических отклонений стоп. Проанализированы существующие типы и конструкции стелек, предназначенных для людей с патологическими отклонениями стоп.

Заключение по первой части.

1. На основе изученных литературных источников и патентных данных были определены основные требования к основным материалам для обуви: коже и подкладочным материалам. При этом особое внимание уделено антибактериальным свойствам.

2. Создание антибактериальной среды очень важно для людей с патологическими отклонениями. Особенно для людей, чья обувь должна обладать антибактериальными свойствами, чтобы предотвратить распространение инфекций и язв при ношении обуви.

3. Одним из наиболее перспективных методов антибактериальной обработки является обработка материалов микрокапсулированными лекарственными препаратами. Наиболее распространенным методом микрокапсулирования является распылительная сушка.

4. Представлены различные исследования, описывающие использование хитозана в текстильной и обувной промышленности для создания антибактериальной среды с перспективными результатами. Хитозан используется в качестве инкапсулирующего агента, поскольку это натуральное, биоразлагаемое, малотоксичное и биосовместимое вещество с антибактериальными свойствами. Лавровое масло обладает антибактериальными, противомикробными, обезболивающими, противовирусными и антисептическими свойствами.

5. Установлено, что стельки на казахстанском рынке помогают регулировать внешнюю форму стопы. Кроме того, выявлена необходимость создания для стелек дополнительной антибактериальной среды из натуральных растворов.

Во второй части диссертации описывается методология, использованная в экспериментальном исследовании. Исследование включало использование отдельных реагентов, химикатов, материалов для обуви, лабораторного оборудования и аналитических методов. Экспериментальные процедуры включали приготовление растворов хитозана и эфирного масла лавра и получение микрочастиц методом распылительной сушки. Был определен выход полученных микрочастиц с последующей морфологической и химической характеристикой с помощью сканирующей электронной микроскопии и инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье. Для количественного определения концентрации эфирного масла лавра использовали ультрафиолетовую и видимую спектрофотометрию, а эффективность инкапсуляции и загрузочную способность определяли с использованием соответствующих аналитических процедур и растворителей, включая метанол и н-гексан. Для изучения выделения эфирного масла лавра из микрочастиц были проведены исследования *in vitro*. Подготовленные микрочастицы были нанесены на кожаную стельку и подкладочные материалы с использованием выбранных методов нанесения, после чего были проведены процедуры сушки и стирки. Обработанные материалы были подвергнуты испытаниям на растворение, изгиб и трение, а также измерению цвета. Также были проведены антимикробные анализы для определения антимикробной активности обработанных материалов для обуви в отношении выбранных тестируемых микроорганизмов.

Заключение по второй части.

1. В качестве основного материала использовалась кожа и три различных подкладочных материала (хлопчатобумажная ткань, тканый ПЭТ и

трикотажная ткань из ПЭТ). Для приготовления микрочастиц использовались хитозан, эфирное масло лавра, уксусная кислота, поверхностно-активные вещества Tween 40 и Span 20, связующее вещество Tanapur One, смачивающее вещество Periwet ELR и загуститель карбоксиметилцеллюлоза натрия. Микрочастицы получали на мини-распылительной сушилке Unopex B 15. Микрочастицы собирали мягкой кистью и переносили в пакеты с застежкой-молнией. Микрочастицы наносили на кожу и подкладку двумя способами: распылением и погружением.

2. Морфологические и химические характеристики микрочастиц, а также антимикробные свойства материалов, покрытых микрочастицами, определяли в соответствии с соответствующими стандартами.

3. Для определения морфологической структуры использовали изображения, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа. Для определения химической структуры использовали ИК-спектроскопию с преобразованием Фурье. Определение эффективности инкапсуляции проводили методом экстракции растворителем. После завершения обработки материалы высушивали и промывали.

4. Были проведены физические испытания, такие как испытание на сопротивление изгибу, испытание на стойкость к истиранию и измерение цвета. Испытание на сопротивление изгибу проводилось для определения способности материала выдерживать многократные изгибы и деформации без образования трещин, расслоения или структурных повреждений. Испытание на стойкость к истиранию использовалось для оценки устойчивости поверхности материала к истиранию и переносу цвета при многократном трении. Инструментальные измерения цвета проводились с использованием колориметрической системы на основе цветового пространства CIE $L^*a^*b^*$, что позволяет точно количественно определить параметры цвета, включая яркость (L^*) и хроматические координаты (a^* , b^*).

5. Антибактериальные и противогрибковые свойства кожаных стелек и материалов подкладки обуви систематически оценивались в отношении репрезентативных грамположительных и грамотрицательных бактериальных штаммов, а именно *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*, а также грибкового штамма *Candida albicans*. Эти тестовые микроорганизмы были выбраны ввиду их распространенности как патогенов, вызывающих кожные инфекции, и их частого участия в микробном загрязнении материалов обуви.

В третьей части диссертации обсуждаются результаты экспериментальных исследований разработанных микрочастиц эфирного масла лавра и их применение в обувных материалах. Оценка микрочастиц включала анализ их физико-химических характеристик, спектров инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье, эффективности инкапсуляции и загрузочной способности. Эффективность инкапсуляции исследовалась с использованием различных растворителей, включая метанол и н-гексан, а поведение высвобождения микрочастиц *in vitro* оценивалось для определения характеристик высвобождения эфирного масла лавра.

Сканирующая электронная микроскопия использовалась для изучения морфологии обработанных поверхностей кожи и распределения микрочастиц. Изменения цветовых характеристик, исследуемых кожаных и подкладочных материалов, оценивались после нанесения микрочастиц. Особое внимание уделялось антимикробным свойствам обработанных материалов, включая кожу и подкладочные материалы, в отношении выбранных тест-микроорганизмов. Наконец, была оценена экономическая и экологическая эффективность разработанной технологии для определения ее практической применимости и потенциала внедрения в обувное производство.

Заключение по третьей части.

1. Для исследования были использованы микрочастицы, полученные из растворов хитозана и лаврового масла. Морфологические характеристики микрочастиц в каждом растворе были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии. В результате была определена наиболее эффективная рецептура L₅ для дальнейшего исследования.

2. Было сделано заключение, что оптимальная рецептура микрочастиц с LEO имела более широкое распределение по размерам, чем чистый хитозан.

3. Результаты данных об изменении цвета с L*, a* и b* подкладки обуви 1, 2, 3 и кожаных стелек, обработанных 5 растворами, показали, что большинство материалов потемнели по сравнению с исходным цветом.

4. Были изучены ИК-спектры хитозана, LEO и L₅. Постоянный характер пиков в инкапсулированном порошке указывает на отсутствие значительного химического взаимодействия между LEO и материалом стенки. Исследование подтвердило, что LEO был включен в полимерную матрицу без заметного химического взаимодействия с хитозаном.

5. Эффективность инкапсуляции и результаты высвобождения *in vitro* для н-гексана и метанола показали, что н-гексан обеспечивает лучшую растворимость и концентрацию, поэтому он был выбран в качестве растворителя для LEO.

6. Изображения обработанной кожи, полученные с помощью СЭМ, показали успешный перенос микрочастиц на кожу с сохранением структурной целостности после нанесения. Было показано, что метод распыления является более подходящей техникой для нанесения микрочастиц на кожаные стельки, чем метод погружения.

7. Среди всех пяти растворов эффективность загрузки лаврового масла в подкладки с DC-M была выше, чем в подкладках, обработанных другими растворами. После трех промывок доля эфирного масла уменьшилась, но все подкладки смогли сохранить эфирное масло в своей структуре.

8. Результаты высвобождения *in vitro* всех обработанных микрочастицами кож увеличивались со временем, как и результаты высвобождения *in vitro* микрочастиц с PBS:н-гексаном. Концентрация высвобождаемого лекарственного вещества из кожи S-M была аналогична концентрации микрочастиц н-гексана.

9. Все образцы кожаных стелек и подкладок для обуви продемонстрировали выраженную антимикробную активность против

исследованных микроорганизмов, подтверждая эффективность примененной функциональной обработки. Результаты показали, что материалы оказывают ингибирующее действие как на бактериальные штаммы (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*), так и на грибковый штамм *Candida albicans*, что свидетельствует о широком спектре антимикробного действия. Примечательно, что наибольшие зоны ингибирования были зафиксированы против *Candida albicans*, что указывает на более высокую восприимчивость грибкового штамма по сравнению с бактериальными культурами. В целом, полученные результаты показывают, что разработанные кожаные стельки и материалы для подкладок обуви обладают эффективными и стабильными антимикробными свойствами, с особенно сильной активностью против грибковых микроорганизмов, тем самым повышая их функциональные и защитные свойства в практическом применении.

10. Результаты исследования показали, что всего 1 г микрочастиц достаточно для функциональной отделки одной пары стелек, стоимость микрочастиц составила 1268 тенге. Этот вывод подтверждает экономическую целесообразность предлагаемой технологии и указывает на то, что она не приводит к значительному увеличению производственных затрат.

Заключение

В ходе выполнения данной диссертационной работы был разработан метод использования эфирного масла лавра и хитозана для достижения длительной антимикробной защиты кожаных стелек и подкладок. Сочетание результатов, полученных в диссертационной работе, позволяет сделать следующие выводы:

1. На основе литературных источников и патентных данных установлено, что создание антибактериальной среды для людей с патологическими отклонениями стопы имеет большое значение. Людям с синдромом диабетической стопы, инфекциями, целлюлитом стопы, гангреной и гиперкератозом рекомендуется носить обувь с некоторыми антибактериальными свойствами для предотвращения распространения инфекций.

2. Для приготовления микрочастиц использовались хитозан, эфирное масло лавра, уксусная кислота, поверхностно-активные вещества Tween 40 и Span 20, связующее вещество Tanapur One, смачивающее вещество Periwet ELR и загуститель карбоксиметилцеллюлоза натрия.

3. Различные экспериментальные растворы, включая контрольный образец и составы, обозначенные L₁, L₂, L₃, L₄, L₅ и L₆, были получены в контролируемых условиях с использованием специально разработанных протоколов приготовления. Процесс сбора проводился при температуре 160-170 °C, при этом скорость потока насоса поддерживалась в диапазоне от 4 до 10 мл/мин. Эти тщательно контролируемые параметры обеспечивали воспроизводимое образование растворов и поддерживали стабильность и однородность собранных образцов для последующего анализа.

4. Морфология и химический состав микрочастиц были исследованы с помощью сканирующей электронной микроскопии, анализа распределения частиц по размерам, ИК-спектроскопии и УФ-видимой спектроскопии. Изображения, полученные с помощью СЭМ, показали, что среди различных микрочастиц L₅ продемонстрировала превосходный выход продукта, равномерное распределение частиц по размерам и почти сферическую морфологию. Микрочастицы L₅ показали высокую эффективность инкапсуляции 90,02% и содержание масла на поверхности 9,98%. Микрочастицы L₅ с метанолом показали более низкую эффективность инкапсуляции, около 10%.

5. Для нанесения микрочастиц на материалы использовались методы распыления и погружения. Исследование показало, что метод распыления более подходит для нанесения микрочастиц на кожаные стельки, поскольку распыление приводит к равномерному распределению слоя микрочастиц под тонким, сплошным покрытием.

6. ИК-спектр хитозана показал характерные пики при 3450 см⁻¹, соответствующие валентным колебаниям N-H и O-H, а также при 2912 и 2862 см⁻¹, соответствующие асимметричным и симметричным валентным колебаниям связей C-H соответственно. Спектр LEO показал характерные полосы в диапазоне 3600-3200 см⁻¹, обусловленные валентными колебаниями O-H (спиртовая группа), а полосы 2881 и 2966 см⁻¹ указывали на наличие валентных колебаний C-H. ИК-спектр микрочастиц L₅ не претерпел существенных изменений и напоминал, как полимер оболочки, так и эфирное масло.

7. Результаты высвобождения микрочастиц *in vitro* с н-гексаном показали постепенное и медленное высвобождение от 0,985 мг/мл за 1 час до 6,86 мг/мл за 6 часов, которое увеличивалось со временем при контакте с фосфатно-буферным раствором. Это наблюдение указывало на быстрое разрушение лаврового масла в среде. Результаты высвобождения микрочастиц *in vitro* с метанолом не показали высвобождения, оно составило 0,01 мг/мл за 60 минут, и через 360 минут оставалось примерно на уровне 0,01 мг/мл.

8. Анализ образцов кожи, обработанных микрочастицами, с помощью сканирующей электронной микроскопии показал успешный перенос и равномерное распределение микрочастиц по поверхности. Изображения высокого разрешения подтвердили, что микрочастицы эффективно прилипли к стелькам без агломерации или неравномерного осаждения. Кроме того, структурная целостность кожи сохранялась после нанесения, о чем свидетельствует отсутствие трещин, разрушения волокон или деформации поверхности на микроскопическом уровне. Эти результаты показывают, что примененная обработка микрочастицами совместима с матрицей кожи, позволяя включать функциональные агенты, сохраняя при этом присущие материалу морфологические характеристики.

9. Исследования высвобождения из кожи *in vitro* показали, что высвобождение DC-O из микрочастиц постепенно увеличивалось со временем

при воздействии фосфатно-буферного раствора, что указывает на быструю деградацию LEO.

10. Результаты колориметрического анализа, выраженные в параметрах L (яркость), а (красно-зеленый) и b* (желто-синий), для образцов подкладки 1, 2, 3 и кожи, обработанных пятью различными растворами, показали заметные изменения цветовых характеристик. В целом, у большинства обработанных материалов наблюдалось снижение значений L* по сравнению с их исходным, необработанным состоянием, что свидетельствует о том, что образцы потемнели после обработки. Кроме того, наблюдались изменения значений a* и b*, отражающие незначительные сдвиги в оттенке и хроматичности материалов. Эти результаты показывают, что примененные методы обработки оказали измеримое влияние на внешний вид как кожи, так и подкладочных материалов, что важно для оценки эстетической совместимости процессов отделки.

11. Микробиологический анализ образцов кожаных стелек и подкладки обуви, покрытых микрочастицами, подтвердил, что кожа и подкладка обуви обладают выраженными антимикробными свойствами. Все варианты образцов кожи и подкладки продемонстрировали значительную антимикробную эффективность против исследованных микроорганизмов, при этом особенно следует отметить эффективность DC-O против *Candida albicans*. В тестах на сопротивление изгибу были обнаружены зоны 12+13 мм, а в тестах без трения и с влажным трением – зоны 12+10 мм. Эти аналитические данные подтверждают, что нанесение лаврового масла и микрочастиц хитозана на кожаные стельки и подкладку является эффективным методом гигиенического контроля с использованием натуральных ингредиентов.

12. Все результаты испытаний и анализов показывают, что антибактериальные микрочастицы были получены методом распылительной сушки и успешно внедрены в стельки. Изучение негативного влияния неприятных запахов и роста бактерий в обуви людей с патологическими отклонениями стопы на качество их жизни позволяет решить важную проблему и предлагает преимущества перед другими антибактериальными химическими веществами благодаря нетоксичности раствора. В заключение, данное исследование может быть полезно не только для людей с патологическими отклонениями стопы, но и для всех потребителей.